

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/010790

International filing date: 13 June 2005 (13.06.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-175123  
Filing date: 14 June 2004 (14.06.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 29 September 2005 (29.09.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2 0 0 4 年 6 月 1 4 日

出 願 番 号  
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 1 7 5 1 2 3

パリ条約による外国への出願  
に用いる優先権の主張の基礎  
となる出願の国コードと出願  
番号

The country code and number  
of your priority application,  
to be used for filing abroad  
under the Paris Convention, is

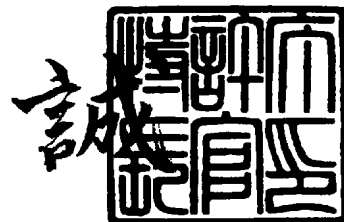
J P 2 0 0 4 - 1 7 5 1 2 3

出 願 人  
Applicant(s): 松下電器産業株式会社

2 0 0 5 年 9 月 7 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

中 嶋



【書類名】	特許願
【整理番号】	7047960026
【提出日】	平成16年 6月14日
【あて先】	特許庁長官殿
【国際特許分類】	B81B
	B82B
	H03H 9/46
【発明者】	
【住所又は居所】	大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
【氏名】	内藤 康幸
【特許出願人】	
【識別番号】	000005821
【氏名又は名称】	松下電器産業株式会社
【代理人】	
【識別番号】	100105647
【弁理士】	
【氏名又は名称】	小栗 昌平
【電話番号】	03-5561-3990
【選任した代理人】	
【識別番号】	100105474
【弁理士】	
【氏名又は名称】	本多 弘徳
【電話番号】	03-5561-3990
【選任した代理人】	
【識別番号】	100108589
【弁理士】	
【氏名又は名称】	市川 利光
【電話番号】	03-5561-3990
【選任した代理人】	
【識別番号】	100115107
【弁理士】	
【氏名又は名称】	高松 猛
【電話番号】	03-5561-3990
【選任した代理人】	
【識別番号】	100090343
【弁理士】	
【氏名又は名称】	濱田 百合子
【電話番号】	03-5561-3990
【手数料の表示】	
【予納台帳番号】	092740
【納付金額】	16,000円
【提出物件の目録】	
【物件名】	特許請求の範囲 1
【物件名】	明細書 1
【物件名】	図面 1
【物件名】	要約書 1
【包括委任状番号】	0002926

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

外力により励振可能な微小振動子を具備し、前記微小振動子が、励振により物理的性質の変化を生じ得るように構成されたことを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 2】

請求項 1 記載の電気機械フィルタであって、  
前記微小振動子は、構造変化により物理的性質が変化する材料で構成されたことを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 のいずれかに記載の電気機械フィルタであって、  
前記物理的性質は、電気伝導特性であることを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 4】

請求項 3 記載の電気機械フィルタであって、  
前記微小振動子は、励振されていないとき、信号が通過し難く、励振されたとき、信号が通過し易くなるように構成されたことを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 5】

請求項 3 記載の電気機械フィルタであって、  
前記微小振動子は、励振されていないとき、信号が通過し易く、前記微小振動子が励振されたとき、信号が通過し難くなるように構成されたことを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 6】

請求項 1 記載の電気機械フィルタであって、  
前記物理的性質の変化は圧電効果によるものであることを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 7】

請求項 6 記載の電気機械フィルタであって、  
前記微小振動子は、励振され構造変化を生じた場合に、前記圧電効果により信号を発生するように構成されたことを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の電気機械フィルタであって、  
前記微小振動子が、ペロブスカイト型遷移金属酸化物で構成されたことを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 9】

請求項 8 記載の電気機械フィルタであって、  
前記ペロブスカイト型遷移金属酸化物は、 $\text{PrNiO}_3$ であることを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の電気機械フィルタであって、  
前記微小振動子は、カーボン系材料で構成されたことを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の電気機械フィルタであって、  
前記微小振動子は、超伝導体で構成されたことを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の電気機械フィルタであって、  
前記超伝導体は  $\text{Al}$ 、 $\text{Pb}$ 、 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ 、 $(\text{BEDTTTF})_2\text{I}_3$  のいずれかであることを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 13】

請求項 6 または 7 に記載の電気機械フィルタであって、  
前記微小振動子は、セラミックスで構成されたことを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 14】

請求項 1 3 に記載の電気機械フィルタであって、

前記微小振動子は、P Z T で構成されたことを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 1 5】

請求項 6 または 7 に記載の電気機械フィルタであって、

前記微小振動子は、マンガン酸ランタンストロンチウム ( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ) で構成されたことを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 1 6】

請求項 1 記載の電気機械フィルタであって、前記微小振動子に隣接して配置された駆動電極もしくは信号入力電極に外部磁場を印加する機構を備え、所望の方向に前記微小振動子の振動を励起するようにしたことを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 1 7】

請求項 1 6 記載の電気機械フィルタであって、前記駆動電極に加える外力が静電力であることを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 1 8】

請求項 1 記載の電気機械フィルタであって、前記微小振動子に外部磁場を印加する機構を備え、ローレンツ力により前記微小振動子を励振することを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 1 9】

請求項 1 乃至 1 8 のいずれかに記載の電気機械フィルタを用いた電気回路。

【請求項 2 0】

請求項 1 乃至 1 8 のいずれかに記載の電気機械フィルタを用いた電気機器。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電気機械フィルタ

【技術分野】

【0001】

本発明は、電気機械フィルタに係り、特に共振器となる微小振動子、それを励振する機構、あるいは微小振動子に、構造変化により物理的性質が変化する材料を用い、フィルタ特性を調整可能にした電気機械フィルタに関する。

【背景技術】

【0002】

無線端末などの情報通信機器の普及が進む中、通信に使用される周波数は、携帯電話等の数百MHzから無線LAN等の数GHz帯と広帯域化が加速している。現在は、各種通信方式に対応した端末を独立使用している状況であるが、将来的には一つの無線端末で各種通信方式に対応した端末の実現が望まれている。

【0003】

また、無線の端末の小型化が進む中、端末の筐体内に内蔵されるフィルタなどの受動部品の小型化が望まれている。近年、特に無線通信でよく用いられているLCなどによる電氣的共振を利用したフィルタは、共振器のサイズが電気長に依存するためフィルタの小型化が難しいという問題があり、新たな信号選択の原理が模索されている。

【0004】

その中で、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術により作製されるRF-MEMSフィルタの研究開発が活発になっている。RF-MEMSフィルタとは、微小振動子の機械的振動を用いた電気機械フィルタである。その利点として、高周波信号の電氣的振動を微小振動子の機械的振動に変換し、再び電氣的振動として出力信号を取り出すため、共振器のサイズが電気長に依存することがなく、フィルタの小型が可能であることが挙げられる。また、RF-ICと親和性の良いプロセスで製造可能であるため、フィルタをRF-ICに内蔵することも可能であり、無線部の小型化に大きく貢献する技術として期待されている。

【0005】

GHz帯の微小振動子を用いた電気機械フィルタとして、例えば非特許文献1がある。この非特許文献1ではシリコン基板上に円盤型の微小振動子を構成し、微小振動子の機械的共振現象を利用して中心周波数1.14GHzの電気機械共振器を実現している。信号選択の仕組みは、信号入力ポートから駆動電極に入力された高周波信号により、駆動電極と微小振動子の間に静電力が加わり、高周波信号の周波数で微小振動子が励振される。微小振動子の機械的な自己共振周波数の信号が入力された場合、微小振動子は大きく励振され、微小振動子と検出電極間の距離の変化による静電容量の変化が生ずる。すると、微小振動子に電圧が印加されているため、微小振動子の機械的振動を、電氣的振動として検出電極で取り出し、検出電極から信号出力ポートへと信号が出力される。つまり、微小振動子の自己共振周波数により設定された周波数の信号のみを選択的に出力することができるわけである。

【0006】

現在、電気機械フィルタにおいては、適応周波数の高周波化、高Q値 (Quality Factor) 化が試みられている。適応周波数の高周波化を実現するためには、微小振動子の自己共振周波数を高周波化する必要がある。そのためには、微小振動子のサイズを小さくするか、微小振動子の高次モードを使用する方法が考えられる。

微小振動子がマイクロメートルオーダーからナノメートルオーダーへと微細化が進むに従い、その振動は極微となり量子振動や熱振動のノイズレベルへと近づくため、極微な振動乃至は量子限界に近い振動の検出を可能とする超高感度の振動検出方法の実現が必要である。

【0007】

【非特許文献1】 J. Wang, et al., IEEE RFIC Symp., 8-10 June, pp. 335-338, 2003.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、現在のところ、微小振動子の自己共振周波数の高周波化を図った場合、微小振動子の振動振幅が小さくなるため、そこから発生する微小な静電容量の変化を電気信号の出力として検出することが困難となる問題がある。より高感度で微小振動子の微小振動を検出するためには、微小振動子と検出電極間の距離を小さくするか、微小振動子に印加する電圧 $V_p$ を高くする必要がある。

【0009】

例えば非特許文献1にみられる電気機械フィルタにおいては、半径 $20\mu\text{m}$ 、厚さ $2\mu\text{m}$ の円盤型の微小振動子において、微小振動子と検出電極間の距離は $100\text{nm}$ であり、 $3\mu\text{m}$ 深さの高アスペクト比エッチングにより形成している。今後、さらなる微小振動子と検出電極間の距離の微細化が必要となれば、製造方法の限界に達することが予想される。また、微小振動子に印加する電圧は $12.9\text{V}$ から $30.54\text{V}$ であり、無線端末に適用するには電圧が高いのが現状である。

【0010】

電気機械フィルタの適応周波数の高周波化を実現するには、実現困難な高感度振動検出機構を備えない構造で、信号選択を行なう方法が必要である。

【0011】

本発明は前記実情に鑑みてなされたものであり、高感度振動検出機構を備えることなく所定の周波数の信号のみを選択して出力することのできる電気機械フィルタおよびそれを用いた電気機器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明では、高感度振動検出機構を備えることなく信号選択を可能とする電気機械フィルタを実現するために、微小振動子が自己共振周波数で振動した際に生ずる微小振動子の構造変化に起因する物理的性質の変化を信号選択の仕組みに使用するものである。

【0013】

前記従来の課題を解決するために、本発明電気機械フィルタは、外力により励振可能な振動子を具備し、前記振動子が、励振により物理的性質の変化を生じ得るように構成されたことを特徴とする。

この構成により、共振器となる微小振動子は外力により励振可能であって、構造変化により物理的性質が変化する材料を使用することで、信号選択を可能とするもので、従来実現困難であった高感度振動検出機構を備えることなく信号選択機能を有する電気機械フィルタを実現する。

ここで微小振動子とは、特にサイズを限定するものではないが、MEMS技術で形成されるマイクロメートルオーダーからナノメートルオーダー程度の振動子をいうものとする。

【0014】

また本発明の電気機械フィルタは、前記微小振動子が、構造変化により物理的性質が変化する材料で構成されたことを特徴とする。

この構成により、高感度の信号検出機構を具備することなく、電気伝導性や、圧電特性を変化することにより、所望の信号特性を得ることができる。

【0015】

また本発明の電気機械フィルタは、前記物理的性質が、電気伝導特性であるものを含む。

この構成により、励振によって電気伝導特性が直接的に変化することになるため、検出が容易である。

【0016】

また本発明の電気機械フィルタは、前記微小振動子は、励振されていないとき、信号が通過し難く、励振されたとき、信号が通過し易くなるように構成されたものを含む。

【0017】

また本発明の電気機械フィルタは、前記微小振動子は、励振されていないとき、信号が通過し易く、前記微小振動子が励振されたとき、信号が通過し難くなるように構成されたものを含む。

【0018】

また本発明の電気機械フィルタは、前記物理的性質の変化は圧電効果によるものを含む。

【0019】

また本発明の電気機械フィルタは、前記微小振動子が励振され構造変化が生じた場合に、前記圧電効果により信号を発生するものを含む。

【0020】

また本発明の電気機械フィルタは、前記微小振動子が、ペロブスカイト型遷移金属酸化物であるものを含む。

【0021】

また本発明の電気機械フィルタは、前記ペロブスカイト型遷移金属酸化物が、 $\text{PrNiO}_3$ であるものを含む。

【0022】

また本発明の電気機械フィルタは、前記微小振動子は、カーボン系材料で構成されたものを含む。

【0023】

また本発明の電気機械フィルタは、前記微小振動子が超伝導体で構成されたものを含む。

【0024】

また本発明の電気機械フィルタは、前記超伝導体がAl、Pb、 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ 、 $(\text{BEDTTTF})_2\text{I}_3$ のいずれかであるものを含む。

【0025】

また本発明の電気機械フィルタは、前記微小振動子が、セラミックスで構成されたものを含む。

【0026】

また本発明の電気機械フィルタは、前記微小振動子が、マンガン酸ランタンストロンチウム ( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ) で構成されたものを含む。

【0027】

また本発明の電気機械フィルタは、前記微小振動子が、PZTで構成されたものを含む。

この構成によりスパッタリング法などで容易に形成することが出来、製造が容易である。

【0028】

また本発明の電気機械フィルタは、信号選択特性の中心周波数が、前記微小機械振動子の自己共振周波数であるものを含む。

【0029】

また本発明の電気機械フィルタは、バンドパスフィルタ特性、もしくはバンドストップフィルタ特性を有するものを含む。

【0030】

また本発明の電気機械フィルタは、信号出力ポート側にパワーアンプなどの信号増幅機構を備えるものを含む。

【0031】

また本発明の電気機械フィルタは、複数個の前記微小振動子を機械的に結合させることにより、信号選択特性のQ値や信号の通過帯域幅を制御するものを含む。

【0032】

また本発明の電気機械フィルタは、前記電気機械フィルタを複数個組み合わせ電氣的に



接続することにより、バンドパスフィルタ機能や、バンドストップフィルタ機能を有するものを含む。

#### 【００３３】

また本発明の電気機械フィルタは、前記微小振動子に隣接して配置された駆動電極もしくは信号入力電極に外部磁場を印加する機構を備え、所望の方向に前記微小振動子の振動を励起するようにしたものを含む。

この構成により、前記微小振動子に隣接して配置された駆動電極もしくは信号入力電極に外部磁場を印加する機構を備え、前記駆動電極もしくは前記信号入力電極を介して前記微小振動子に外部磁場を印加する機構の配置により、所望の方向に前記微小振動子の振動を励起する外力を印加することができる。

#### 【００３４】

また本発明の電気機械フィルタは、前記駆動電極に加える外力が静電力であるものを含む。

#### 【００３５】

また本発明の電気機械フィルタは、前記微小振動子に外部磁場を印加する機構を備え、ローレンツ力により前記微小振動子を励振するものを含む。

#### 【００３６】

また本発明の電気回路は、上記電気機械フィルタを用いた電気回路を含む。

#### 【００３７】

また本発明の電気機器は、上記電気機械フィルタを用いた電気機器を含む。

#### 【発明の効果】

#### 【００３８】

以上説明したように、本発明によれば、微小振動子が自己共振周波数で振動した際に生ずる微小振動子の構造変化に起因する物理的性質の変化を信号選択の仕組みに使用することにより、所定の周波数の信号のみを選択して出力することができる。

また、高感度振動検出機構を備える必要がないため、構造が簡素でかつ低コストで製造可能な高周波信号選択機能を有する電気機械フィルタを提供する。

#### 【００３９】

また、微小振動子に振動を励起するための外力を与える機構も不要となり、さらに構造が簡潔となることから、低コストでの製造が可能となる。

なお、本発明電気機械フィルタは、無線通信用電気回路のみならず、様々な用途の電気回路に適用可能である。

また、本発明電気機械フィルタは、共振器としても使用可能であるため発振器に用いることや、ミキサや増幅器などの電気回路のブロック中に用いることが可能である。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【００４０】

以下、本発明の各実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

##### （実施の形態１）

図１（ａ）は、本発明の実施の形態１における電気機械フィルタの構成を示す斜視図であり、微小振動子１０１として $\text{PrNiO}_3$ が用いられる。図１（ａ）に示す電気機械フィルタ１００では、表面に絶縁層１０５が形成された基板１０６上に、ポスト１０３間に架橋された微小振動子１０１が設けられている。微小振動子１０１には、信号を入力する信号入力ポートＩＮと信号を出力する信号出力ポートＯＵＴが接続されており、この信号入力ポートＩＮに高周波信号が入力された場合、微小振動子１０１と基板１０６との間に電位差が生じ、高周波信号と同じ周波数で微小振動子１０１に静電力が加わる仕組みになっている。

#### 【００４１】

次に、この電気機械フィルタ１００における微小振動子の信号選択の仕組みについて説明する。信号入力ポートＩＮより入力された信号は、微小振動子１０１に伝搬し、高周波信号の周波数で微小振動子１０１を励振する。微小振動子１０１の自己共振周波数に応じ

た信号が入力された場合のみ、微小振動子 101 は大きな振幅で励振され、微小振動子 101 の構造変形が生ずる。微小振動子 101 の振動は、その自己共振周波数の高次モードまで使用することが可能であり、微小振動子 101 の振動方向は、その励起された振動モードによって変化する。微小振動子 101 の振動方向を V で示す。この構造では図 1 に示すように振動方向 V は多方向である。

#### 【0042】

微小振動子 101 が極微でその振動振幅が小さいほど、その変化量を電氣的に検出する従来の電気機械フィルタの振動検出方法では、信号を取り出すことは困難である。そこで、本発明の電気機械フィルタ 100 では、微小振動子 101 が自己共振周波数で振動した際に微小振動子 101 の構造変化により物理的性質が変化し、信号を選択する新方式を導入する。本実施の形態 1 では、物理的性質の変化として電気伝導特性の変化を生じるように構成している。

#### 【0043】

図 2 は、本発明の実施の形態 1 における電気機械フィルタの微小振動子の構造変形を示す図である。微小振動子 101 が振動していない状態では、図 2 (a) に示すように微小振動子 101 の構造は直線的な静止状態にあり、結晶構造も格子定数 ( $a$ ,  $b$ ) で格子 107 が規則的に並んだ歪みの生じていない状態にある。一方、微小振動子 101 が自己共振周波数により励振された状態では、図 2 (b) に示すように微小振動子 101 の構造は曲線的な振動状態となり、結晶構造も格子が不規則に並んだ歪みの生じた状態となる。この場合、格子定数は局所的に異なる値 ( $a'$ ,  $b'$ ) となり、ある場所では  $b'$ 、またある場所では  $b''$  というように不規則となる。

#### 【0044】

本発明の電気機械フィルタ 100 では、微小振動子 101 の構造変化による電気伝導特性の変化を信号選択の仕組みに使用するため、微小振動子 101 に構造変化により電子バンド構造が変化する材料を使用する。図 3 は、本発明の実施の形態 1 における電気機械フィルタの微小振動子を構成する材料の電子バンド構造を示す図である。図 3 (a) は、微小振動子 101 が振動していない静止状態の微小振動子 101 の電子バンド構造である。微小振動子 101 の結晶構造に歪みが生じていない状態では、微小振動子 101 の電気伝導特性は絶縁性となっている。価電子帯と伝導帯の間に大きくエネルギーギャップ  $E_g$  が開いた電子バンド構造となっており、電気伝導に寄与するフェルミエネルギー  $E_f$  はそのエネルギーギャップ  $E_g$  の中に位置しているため、電子が移動することのできない絶縁体としての電子バンド構造となっている。一方、図 3 (b) は、微小振動子 101 が自己共振周波数により励振された振動状態の微小振動子 101 の電子バンド構造である。微小振動子 101 の結晶構造に歪みが生じた状態では、その歪みにより微小振動子 101 の電子バンド構造が変化し金属構造になり電気伝導特性は導電性となる。価電子帯と伝導帯の間にあったエネルギーギャップ  $E_g$  が消失し、電気伝導に寄与するフェルミエネルギー  $E_f$  上に伝導帯の電子バンドがかかることにより、電子が伝導することのできる金属的電子バンド構造へと変化する。

#### 【0045】

微小振動子 101 の自己共振周波数ではない信号が信号入力ポート IN より入力された場合は、微小振動子 101 は振動していない静止状態にあり、絶縁体としての電子バンド構造をもち、その電気伝導特性は絶縁性となっている。この場合、信号は微小振動子 101 を流れることができず、信号出力ポート OUT へは信号は出力されない。一方、微小振動子 101 の自己共振周波数の信号が信号入力ポート IN より入力された場合では、微小振動子 101 は励振された振動状態となり、その電気伝導特性は金属となる。この場合、信号は微小振動子 101 を流れることが可能となり、信号出力ポート OUT へ信号が出力される。つまり、微小振動子 101 の自己共振周波数の信号が信号入力ポート IN より入力された場合のみ、同じ周波数の信号が信号出力ポート OUT へ選択的に通過できるわけである。

#### 【0046】

図4(a)は、本発明の実施の形態1における電気機械フィルタの信号選択特性を示す図である。中心周波数 $f_c$ のバンドパスフィルタ特性を有することが可能である。中心周波数 $f_c$ およびQ値は、微小機械振動子101の設計に依存し、微小機械振動子101の自己共振周波数およびQ値により決定される。

#### 【0047】

本実施の形態では、微小振動子101に使用する構造変化により電子バンド構造が変化する材料として、前記 $\text{PrNiO}_3$ を用いた。 $\text{PrNiO}_3$ はセラミックスであり、結晶構造の歪みに起因する金属―絶縁体転移が起こり、同一材料において劇的な電気伝導特性の変化が生ずる。ペロブスカイト型3d遷移金属酸化物 $\text{PrNiO}_3$ は、絶縁体から金属への転移が観られる材料である。Prをイオン半径のより小さいイオンに置換して歪みを大きくすることにより、バンドギャップを大きくすることもできる。このような材料に外力で機械的に結晶歪を励起した場合、電子バンド構造の変化による電気伝導特性の変化が生ずる。

#### 【0048】

ここでは、微小振動子101の構造変化とその電気伝導特性の関係の一例を示したが、微小振動子101が振動していない状態、すなわち静止状態の時は、絶縁体に限定されることなく、半導体や高抵抗の金属など、インピーダンスの高い状態であり、微小振動子101が励振された振動状態の時は、金属に限定されることなく、低抵抗の半導体など、インピーダンスの低い状態であればよい。

#### 【0049】

なお、前記実施の形態では、微小振動子101として両持ち梁を用いたのに対し、図1(b)に変形例を示すように中心に円盤101Cを配した微小振動子101を用いてもよい。

図1(b)は、図1(a)の電気機械フィルタの変形例を示す斜視図である。図1(b)に示す電気機械フィルタ200では、電気機械フィルタ100において微小振動子を両持ち梁としたのに対し、この様に、微小振動子101として、微小振動子の中心に円盤101Cを配設することにより、感度を向上することができる。またこの他、片持ち梁、角盤など、適宜形状変化を行なうことが可能である。なお、図1(b)の電気機械フィルタ200において、図1(a)に示した電気機械フィルタ100と同様の構成については、同名称および同符号を付して説明は省略する。

#### 【0050】

また、本発明の実施の形態1における電気機械フィルタは、微小振動子101に構造変化と電気伝導特性の関係が逆である材料、つまり、静止状態では金属や低抵抗の半導体などのインピーダンスの低い状態、振動状態では絶縁体、または半導体や高抵抗の金属などのインピーダンスの高い状態となる材料を使用することにより、図4(b)に示すような中心周波数 $f_c$ のバンドストップフィルタ特性を有することも可能である。なお、信号出力ポートOUT側に、出力信号のパワーを増幅するためのパワーアンプなどを設けることが可能である。

#### 【0051】

また、複数の微小振動子を機械的に結合させて用いることにより、信号選択特性のQ値や信号の通過帯域幅を制御することが可能である。

また、本発明電気機械フィルタを並列または直列に接続した多段フィルタ構成にすることが可能である。

ここで、電気機械フィルタ100の製造方法について説明する。工程としては図5に示した電気機械フィルタ200についても同様であり、マスクパターンの形状が異なるのみである。

#### 【0052】

図5(a)～(c)は、本発明の実施の形態1における図1(a)の電気機械フィルタのA-B断面に相当する電気機械フィルタの製造工程を段階的に説明する断面図である。まず、図5(a)に示すように、Siからなる基板106上に、熱酸化法あるいはスパッタリング法などにより $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ などの絶縁層105を形成する。次に、ポスト103と

なる $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ などの絶縁材料をスパッタリング法やCVD (Chemical Vapor Deposition) 法などにより形成する。更に、その上に微小振動子101となる材料（ここでは $\text{PrNiO}_3$ ）をスパッタリング法やCVD法などにより堆積する。図5（b）に示すように、微小振動子101となる材料の上に、フォトレジスト108を形成し、電子線ビームリソグラフィーやフォトリソグラフィーなどによりパターンニングし、微小振動子101のパターンをドライエッチングにより成形する。最後に、フォトレジスト108をアッシングにより除去した後、犠牲層としての役割も果たす微小振動子101下方の絶縁材料を微小振動子101となる材料との選択性ウエットエッチングなどにより除去し、図5（c）に示すような微小振動子101の中空構造を作製する。エッチャントとして、 $\text{HF}$ などを用いる。また、選択性ウエットエッチング後に中空構造の基板への接触を回避するため、 $\text{CO}_2$ 超臨界乾燥を行なう。

#### 【0053】

なお、前記実施の形態では、微小振動子101として $\text{PrNiO}_3$ を用いたが、 $\text{PrNiO}_3$ に限定されることなく、例えば $\text{Si}$ （ポリ $\text{Si}$ 、単結晶 $\text{Si}$ 、ドーパド $\text{Si}$ （P型、N型））、 $\text{Ga}$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{GaAsP}$ 、 $\text{InGaAs}$ 、 $\text{GaN}$ 、 $\text{AlGaN}$ 、 $\text{SiC}$ などの半導体も適用可能である。また基板としても $\text{Si}$ に限定されることなく、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{GaAsP}$ 、 $\text{InGaAs}$ 、 $\text{GaN}$ 、 $\text{AlGaN}$ など化合物半導体も適用可能である。

半導体においては、結晶歪みを与えることにより電子バンド構造を変化させ、電気伝導特性を変えることができる。例えば $\text{Si}$ 中にボロンやリンなどの不純物をドーピングすることにより抵抗率やヤング率を調整することも可能である。さらには化合物半導体の場合には組成比の調整とドーパントの調整により所望のバンドギャップと電気的伝導性の変化量とを調整することができる。 $\text{SiC}$ においては、結晶歪を与えることにより、歪みがない場合と比較してドリフト速度が上昇し、電気伝導性が良くなる性質がある。また、 $\text{Si}$ においては、電子バンド構造が1次元系となるナノワイヤーにおいて、周囲に $\text{SiO}_2$ を形成して巨大な応力を与えると結晶歪みが生じ、電子バンド構造が大きく変化しやすくなる。2GPaの応力で150meVバンドギャップを減じることができる。

#### 【0054】

また、カーボンナノチューブなどのカーボン系材料においては、構造の違いにより電気伝導特性の変化が生ずる。カーボンナノチューブにおいては、グラフェンシートの巻き方（カイラリティ）によって電気伝導特性が金属や半導体となる。半導体的カーボンナノチューブにおいては、非常に小さいエネルギーギャップ（2、3meV）や中程度のエネルギーギャップ（0.2～0.3eV）の電子バンド構造も観られる。またカーボンナノチューブの中に様々な物質を注入したピーボットにすることにより、カーボンナノチューブの電子バンド構造を制御することが可能である。注入する物質としてセシウム（ $\text{Cs}$ ）などの原子や、フラーレン $\text{C}_{60}$ 、異原子内包フラーレン、有機物質などの分子である。カドリニウム金属内包フラーレン $\text{Gd@C}_{82}$ を内包した単層カーボンナノチューブにおいては、 $\text{Gd@C}_{82}$ がない部分でバンドギャップが0.42eVであるのに対し、 $\text{Gd@C}_{82}$ が存在する部分においてはバンドギャップが0.17eVと局所的に狭くなる。カーボンナノチューブなどのカーボン系材料は、その構造によって電子バンド構造が大きく変化する材料であり、このような材料に外力で機械的に結晶歪を励起した場合、電子バンド構造の変化による電気伝導特性の変化が生ずる。

#### 【0055】

$\text{Si}$ 半導体や金属薄膜抵抗体、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ のようなセラミックスにおいては、歪みの大きさに応じて抵抗が変化する性質（ピエゾ抵抗効果）がある。ペロブスカイト型マンガン酸化物 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ においては、 $x=0.25$ において室温で比較的高いピエゾ抵抗効果を示し、150MPaで歪みを与えた場合、抵抗率が7%変化する。これは構造体を高強度化するためにジルコニア（ $\text{ZrO}_2$ ）中に20wt%  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ を分散させた場合である。分散量を変えることによりピエゾ抵抗効果や強度を制御可能であり、抵抗率の変化量や構造体の共振周波数および振幅量（歪み量）を変えることができる。また、異なる組成の材料を積層し、所望の抵抗率変化と共振周波数を得ることができるよう調整することも有効である。

#### 【0056】

さらにまた、Al、Pb、 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ 、 $(\text{BEDTTTF})_2\text{I}_3$ などの超伝導体も有効である。Alなどの超伝導金属においては、結晶格子の歪みにより電気伝導特性が電気抵抗ゼロの超伝導へと転移する。超伝導の発現には2つの電子により形成されるクーバーペアの形成が必要であるが、その要因が結晶格子の歪みである。格子点に位置するプラスの極性をもつイオンが結晶歪みにより集まると、そこは局部的にプラスの極性が強くなりマイナスの極性をもつ電子が集まって来る。するとそこでクーバーペアが形成される電子構造となるわけである。また $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ などの銅酸化物高温超伝導体においては、絶縁体から超伝導体への転移を含む複雑な相図がみられ、機械的に結晶構造の歪みを与えることによりその電気伝導特性を制御可能である。

#### 【0057】

また、量子ドットなどを埋め込んだ複合材料も有効である。量子ドットなどを埋め込んだ複合材料においては、結晶歪みを与えることにより量子ドットの電子バンド構造を変化させ、電気伝導特性を変えることができる。GaAsにInGaAs量子ドットを埋め込んだ複合材料においては、MEMS技術により作製された両持ち梁を外力により曲げ結晶歪みを励起することにより、量子ドットの歪みに起因する電子バンド構造の変化が生じる。

#### 【0058】

この他、以下に示すような材料も結晶歪による電気伝導特性の変化を示すことから、適用可能である。

なお、 $(\text{DMe-DCNQI})_2\text{Cu}$ などの有機物質、カーボンナノチューブなどのカーボン系材料、複数の材料を積層した超格子材料、Al、Au、Cuなどの金属、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ などの絶縁材料、Niなどの磁性体、PZTなどの誘電材料なども適用可能である。

#### 【0059】

前記実施の形態1では、微小振動子の振動方向は規定されていなかったが、微小振動子に所望とする方向に振動を励起する外力が加わるよう駆動電極102を配置することが可能である。図6は、本発明の実施の形態1における図1の電気機械フィルタの変形例を示す斜視図である。図6(a)に示す電気機械フィルタ300では、表面に絶縁層105が形成された基板106上に、ポスト103間に架橋された微小振動子101と、スペーサ104上に設けられた駆動電極102が設けられている。微小振動子101には、信号を入力する信号入力ポートINと信号を出力する信号出力ポートOUTが接続されており、高周波信号が入力された場合、微小振動子101と駆動電極102との間に電位差が生じ、高周波信号と同じ周波数で微小振動子101に静電力が加わる仕組みになっている。微小振動子101の振動方向をVで示す。図6(a)においては、微小機械振動子101の振動方向Vを基板に対して水平方向の場合を示したが、振動方向は垂直方向を含めた様々な方向が可能であり、所望とする方向に励振力が微小振動子に加わるよう駆動電極102を配置することが可能である。

#### 【0060】

図6(b)は、図6(a)の電気機械フィルタの変形例を示す斜視図である。図6(b)に示す電気機械フィルタ400では、電気機械フィルタ300において微小振動子101として両持ち梁を用いているのに対し、円盤を用いた例である。この様に、微小振動子101として、他にも片持ち梁、角盤など様々な形状を用いることが可能である。なお、図6(b)の電気機械フィルタ400において、図6(a)に示す電気機械フィルタ300と同様の構成については、同名称および同符号を付して説明は省略する。

#### 【0061】

ここで、電気機械フィルタ300の製造方法について説明する。なお図6(b)に示した電気機械フィルタ400についてもマスクパターンが若干異なるのみで、方法自体は同様である。図7(a)乃至(c)、図8(a)乃至(b)は、本発明の実施の形態1の変形例である図6(a)の電気機械フィルタのC-D断面における電気機械フィルタの製造工程を段階的に説明する断面図である。まず、図7(a)に示すように、Siなどの基板106上に、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ などの絶縁層105を熱酸化やスパッタなどにより形成する。こ

こでも基板1としてはSiのほかGaAsなどの化合物半導体も適用可能である。次に、ポスト103、スペーサ104となるSiO<sub>2</sub>、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>などの絶縁材料をスパッタリング法やCVD (Chemical Vapor Deposition) 法などにより形成する。更に、その上に駆動電極102となるSiを、CVD法などにより堆積する。Si、GaAs等の半導体材料にはドーピングが可能であり、P型化あるいは、N型化により低抵抗化のために行なうものである。Siの場合P型であればボロンを、N型であれば磷をドーピングすることが可能である。ドーピングは、振動子の低抵抗化すなわちインピーダンスを下げる効果や、ヤング率の制御の効果がある。

#### 【0062】

次に、図7 (b) に示すように、駆動電極102となる前記ドーパドシリコンの上に、電子線ビームリソグラフィーやフォトリソグラフィーなどによりパターンニングしたフォトレジスト108を形成し、このパターンをマスクとしてドライエッチングにより成形する。

次いで、微小振動子101の形成を行なう。図7 (c) に示すように、フォトレジスト108をアッシングにより除去した後、微小振動子101となる材料をスパッタリング法やCVD法などにより堆積する。次いで、微小振動子101となる材料の上に、電子線ビームリソグラフィーやフォトリソグラフィーなどによりパターンニングしたフォトレジスト108を形成し、図8 (a) に示すように、ドライエッチングにより成形する。最後に、フォトレジスト108をアッシングにより除去した後、犠牲層としての役割も果たす微小振動子101下方の絶縁材料を微小振動子101となる材料との選択性ウエットエッチングなどにより除去し、図8 (b) に示すような微小振動子101の中空構造を作製する。エッチャントとしてHFなどを用いる。また、選択性ウエットエッチング後に中空構造の基板への接触を回避するため、CO<sub>2</sub>超臨界乾燥を行なう。

#### 【0063】

なお、微小振動子101の材料としては、前記実施の形態1と同様である。駆動電極102を半導体材料で構成する場合には、微小振動子101と同一工程で形成しておき、パターン形成後、あるいはパターン形成前に、ドーピングにより駆動電極102のみを選択的に低抵抗化するようにしてもよい。これにより、マスク数が低減され工程の簡略化をはかることができる。

さらにまた、微小振動子101にドーピングを行なったりあるいは、あるいは改質処理を行なうことにより、構造変化を生じ易い構造とすることも可能である。改質処理としては、例えばイオン半径の大きい材料をイオン注入することにより、結晶歪を形成する処理などがある。

#### 【0064】

また、駆動電極102の材料として、アルミニウム、金、銅などの金属材料をスパッタや蒸着等により堆積し、形成することが可能である。

また、この場合も高周波信号の基板106による損失の影響がないことが保障される場合には、絶縁層105を形成しなくてもよい。

#### 【0065】

このように、電気機械フィルタ100、200、300、400によれば、従来実現困難であった高感度振動検出機構を備えることなく所定の周波数の信号のみを選択して出力することを可能とする。また、高感度振動検出機構を備える必要がないため、構造が簡素でかつ低コストで製造可能な高周波信号選択機能を有する電気機械フィルタを提供する。さらには、電気機械フィルタ100、200によれば微小振動子に振動を励起するための外力を与える機構も備える必要がなくなり、さらに構造が簡潔で低コストでの製造を可能とする。

#### 【0066】

なお、本発明電気機械フィルタは、無線通信端末のみならず、様々な用途の電気機器に適用可能である。

また、本発明電気機械フィルタは、無線通信用電気回路のみならず、様々な用途の電気回路に適用可能である。

また、本発明電気機械フィルタは、共振器など別の用途としても使用可能であり、発振器やミキサー、増幅器などの電気回路のブロック中に用いることが可能である。

#### 【0067】

(実施の形態2)

図9(a)は、本発明の実施の形態2における電気機械フィルタの構成を示す斜視図である。図9(a)に示す電気機械フィルタ500では、表面に絶縁層105が形成された基板106上に、ポスト103間に架橋された微小振動子101が設けられており、微小振動子101に外部磁場Hを印加する機構が設けられている。微小振動子101には、信号を入力する信号入力ポートINと信号を出力する信号出力ポートOUTが接続されている。外部磁場Hを印加する機構は、磁性体やコイルなどの磁場を発生させる機構が可能である。

実施の形態1における電気機械フィルタ100、200では、微小振動子101を静電力により励振するのに対し、本実施の形態2における電気機械フィルタ500では、その励振方法が異なりローレンツ力により微小振動子101を励振する。

#### 【0068】

電気機械フィルタ500における微小振動子の励振方法について説明する。微小振動子101に振動させたい方向にローレンツ力が印加されるよう、外部磁場Hを微小振動子101に印加しておく。微小振動子101の振動方向をVで示すが、この場合、外部磁場Hのベクトル方向は基板に対して垂直方向である。高周波信号が信号入力ポートINより入力され、微小振動子101に高周波信号による交流電流が流れた場合、交流電流と外部磁場Hにより微小振動子101にローレンツ力が加えられる。そのローレンツ力の方向は、交流電流の方向により交互に切り替わるが、その周波数は高周波信号の周波数である。このようにして高周波信号により微小振動子101にローレンツ力を印加し、微小振動子101を励振するわけである。

#### 【0069】

次に、この電気機械フィルタ300における微小振動子の信号選択の仕組みについて説明する。信号入力ポートINより入力された信号は、微小振動子101に伝搬し高周波信号の周波数で微小振動子101を励振する。微小振動子101の自己共振周波数の信号が入力された場合のみ微小振動子101は大きな振幅で励振され、微小振動子101の構造変形が生ずる。微小振動子101の振動は、その自己共振周波数の高次モードまで使用することが可能であり、微小振動子101の振動方向は、その励起された振動モードによって変化する。

#### 【0070】

微小振動子101が極微でその振動振幅が小さいほどその変化量を電氣的に検出する従来の電気機械フィルタの振動検出方法では、信号を取り出すことは困難である。そこで、本発明電気機械フィルタ300では、微小振動子101が自己共振周波数で振動した際に微小振動子101の構造変化により物理的性質が変化し、信号を選択する新方式を導入する。本実施の形態2では、物理的性質の変化として電気伝導特性の変化を適用した場合を示す。

#### 【0071】

図2は、本発明の実施の形態2における電気機械フィルタの微小振動子の構造変形を示す図である。微小振動子101が振動していない状態では、図2(a)に示すように微小振動子101の構造は直線的な静止状態にあり、結晶構造も格子定数(a, b)で格子107が規則的に並んだ歪みの生じていない状態にある。一方、微小振動子101が自己共振周波数により励振された状態では、図2(b)に示すように微小振動子101の構造は曲線的な振動状態となり、結晶構造も格子が不規則に並んだ歪みの生じた状態となる。この場合、格子定数は局所的に違う値(a', b')となり、ある場所ではb'、またある場所ではb''というように不規則となる。

#### 【0072】

本発明電気機械フィルタ500では、微小振動子101の構造変化による電気伝導特性

の変化を信号選択の仕組みに使用するため、微小振動子 101 に構造変化により電子バンド構造が変化する材料を使用する。本実施の形態 2 においては、微小振動子 101 を励振するために交流電流が流れる必要があるため、微小振動子 101 が振動していない静止状態においてある程度の電気伝導性を有する必要がある。図 10 は、本発明の実施の形態 2 における電気機械フィルタの微小振動子の電子バンド構造を示す図である。図 10 (a) は、微小振動子 101 が振動していない静止状態の微小振動子 101 の電子バンド構造である。微小振動子 101 の結晶構造に歪みが生じていない状態では、微小振動子 101 の電気伝導特性は半導体または高抵抗の金属となっている。半導体の場合は、価電子帯と伝導帯の間にエネルギーギャップ  $E_g$  が開いた電子バンド構造となっており、電気伝導に寄与するフェルミエネルギー  $E_f$  はそのエネルギーギャップ  $E_g$  の中に位置している。絶縁体の場合と比較してエネルギーギャップ  $E_g$  が小さいため、キャリア（電子または正孔）が移動することができる半導体的電子バンド構造となっている。

#### 【0073】

また、比較的高い抵抗の金属の場合は、価電子帯と伝導帯の間にエネルギーギャップ  $E_g$  は存在しない金属的なバンド構造となっているが、電気伝導に寄与するフェルミエネルギー  $E_f$  上にかかる伝導帯の電子バンドの数が比較的少ないため、通常の抵抗の金属と比較して伝導することのできる電子の数が少なくなる。よって、高抵抗の金属的電子バンド構造となっている。一方、図 10 (b) は、微小振動子 101 が自己共振周波数により励振された振動状態の微小振動子 101 の電子バンド構造である。微小振動子 101 が自己共振周波数により励振された振動状態において微小振動子 101 の結晶構造に歪みが生じた状態では、その歪みにより微小振動子 101 の電子バンド構造が変化し電気伝導特性は金属となる。価電子帯と伝導帯の間のエネルギーギャップ  $E_g$  は存在せず、電気伝導に寄与するフェルミエネルギー  $E_f$  上に伝導帯の電子バンドが多くかかることにより、金属的電子バンド構造へと変化する。

#### 【0074】

微小振動子 101 の自己共振周波数ではない信号が信号入力ポート IN より入力された場合では、微小振動子 101 は振動していない静止状態にあり、その電気伝導特性は半導体または高抵抗の金属となっている。この場合、高いインピーダンスの微小振動子 101 を十分な信号が流れることができず、信号出力ポート OUT へは信号は出力されない。一方、微小振動子 101 の自己共振周波数の振動が信号入力ポート IN より入力された場合では、微小振動子 101 は励振された振動状態となり、その電気伝導特性は金属となる。この場合、信号は微小振動子 101 を流れることが可能となり、信号出力ポート OUT は信号が出力される。つまり、微小振動子 101 の自己共振周波数の信号が信号入力ポート IN より入力された場合のみ、同じ周波数の信号が信号出力ポート OUT へ選択的に通過できるわけである。

#### 【0075】

図 4 (a) は、本発明の実施の形態 2 における電気機械フィルタの信号選択特性を示す図である。中心周波数  $f_c$  のバンドパスフィルタ特性を有することが可能である。中心周波数  $f_c$  および Q 値は、微小機械振動子 101 の設計に依存し、微小機械振動子 101 の自己共振周波数および Q 値により決められる。

#### 【0076】

この場合、微小振動子 101 の構造変化とその電気伝導特性の関係の一例を示したが、微小振動子 101 が励振された振動状態の時は、低抵抗の半導体などインピーダンスの低い状態であっても良い。

#### 【0077】

微小振動子 101 に使用する構造変化により電子バンド構造が変化する材料についても実施の形態 1 と同様である。

#### 【0078】

図 9 (b) は、図 9 (a) の電気機械フィルタの変形例を示す斜視図である。図 9 (b) に示す電気機械フィルタ 600 では、電気機械フィルタ 500 において微小振動子 10



1として両持ち梁を用いているのに対し、円盤を用いた例である。この様に、微小振動子101として、他にも片持ち梁、角盤など様々な形状を用いることが可能である。なお、図9(b)の電気機械フィルタ600において、図9(a)に示す電気機械フィルタ500と同様の構成については、同名称および同符号を付して説明は省略する。

#### 【0079】

なお、本発明の実施の形態2における電気機械フィルタは、微小振動子101に構造変化と電気伝導特性の関係が逆である材料、つまり、静止状態では金属や低抵抗の半導体などのインピーダンスの低い状態、振動状態では半導体や高抵抗の金属などのインピーダンスの高い状態となる材料を使用することにより、図4(b)に示すような中心周波数 $f_0$ のバンドストップフィルタ特性を有することも可能である。

#### 【0080】

また、信号出力ポートOUT側に、出力信号のパワーを増幅するためのパワーアンプ等を設けることが可能である。

また、複数個の微小振動子を機械的に結合させることにより、信号選択特性のQ値や信号の通過帯域幅を制御することが可能である。

#### 【0081】

また、本発明電気機械フィルタを並列または直列に接続した多段フィルタ構成にすることが可能である。

また、本実施の形態2においては、微小機械振動子の振動方向を基板に対して水平方向の場合を示したが、振動方向は垂直方向を含めた様々な方向が可能であり、所望とする方向に励振力が微小振動子に加わるよう外部磁場Hを印加する機構の配置や磁場Hの印加方向を制御することが可能である。

#### 【0082】

電気機械フィルタ500、600は、本発明の実施の形態1における電気機械フィルタ100、200の製造方法と同様な製造方法で作製可能である。

このように、電気機械フィルタ500、600によれば、従来実現困難であった高感度振動検出機構を備えることなく所定の周波数の信号のみを選択して出力することを可能とする。また、高感度振動検出機構を備える必要がないため、構造が簡素でかつ低コストで製造可能な高周波信号選択機能を有する電気機械フィルタを提供する。さらには、微小振動子に振動を励起するための外力を与える機構も備える必要がなくなり、さらに構造が簡潔で低コストでの製造を可能とする。

#### 【0083】

##### (実施の形態3)

図11(a)は、本発明の実施の形態3における電気機械フィルタの構成を示す斜視図である。図11(a)に示す電気機械フィルタ700では、表面に絶縁層105が形成された基板106上に、ポスト103間に架橋されたPZTからなる微小振動子101と、スペーサ104上に設けられた信号入力電極109が設けられている。信号入力電極109には、信号を入力する信号入力ポートINが、微小振動子101には、信号を出力する信号出力ポートOUTが接続されている。高周波信号が信号入力ポートINより入力された場合、信号入力電極109と微小振動子101との間に電位差が生じ、高周波信号と同じ周波数で微小振動子101に静電力が加わる仕組みになっている。微小振動子101の振動方向をVで示す。図11(a)においては、微小機械振動子101の振動方向Vを基板に対して水平方向の場合を示したが、振動方向は垂直方向を含めた様々な方向が可能であり、所望とする方向に励振力が微小振動子に加わるよう信号入力電極109を配置することが可能である。

#### 【0084】

次に、この電気機械フィルタ700における微小振動子の信号選択の仕組みについて説明する。微小振動子としてPZTを用いた電気機械フィルタの構成を示す縦断面図である。信号入力ポートINより入力された信号は、信号入力電極109に伝搬し高周波信号の周波数で微小振動子101を励振する。微小振動子101の自己共振周波数の信号が入力さ

れた場合のみ、微小振動子 101 は大きな振幅で励振され微小振動子 101 の構造変形が生ずる。微小振動子 101 の振動は、その自己共振周波数の高次モードまで使用することが可能であり、微小振動子 101 の振動方向は、その励起された振動モードによって変化する。

#### 【0085】

微小振動子 101 が極微でその振動振幅が小さいほどその変化量を電氣的に検出する従来の電気機械フィルタの振動検出方法では、信号を取り出すことは困難である。そこで、本発明電気機械フィルタ 700 では、微小振動子 101 が自己共振周波数で振動した際に微小振動子 101 の構造変化により物理的性質が変化し、信号を選択する新方式を導入する。本実施の形態 3 では、物理的性質の変化として圧電効果を適用した場合を示す。

#### 【0086】

本発明の実施の形態 3 における電気機械フィルタの微小振動子の構造変形についても図 2 に示したような現象が生じている。微小振動子 101 が振動していない状態では、図 2 (a) に示すように微小振動子 101 の構造は直線的な静止状態にあり、結晶構造も格子定数 (a, b) で格子 107 が規則的に並んだ歪みの生じていない状態にある。一方、微小振動子 101 が自己共振周波数により励振された状態では、図 2 (b) に示すように微小振動子 101 の構造は曲線的な振動状態となり、結晶構造も格子が不規則に並んだ歪みの生じた状態となる。この場合、格子定数は局所的に違う値 (a', b') となり、ある場所では b'、またある場所では b'' というように不規則となる。

#### 【0087】

本発明の電気機械フィルタ 700 では、微小振動子 101 の構造変化による圧電効果を信号選択の仕組みに使用するため、微小振動子 101 に圧電材料を使用する。微小振動子 101 の自己共振周波数ではない信号が信号入力ポート IN より入力された場合では、微小振動子 101 は振動していない静止状態にある。一方、微小振動子 101 の自己共振周波数の振動が信号入力ポート IN より入力された場合では、微小振動子 101 は励振された振動状態となり、微小振動子 101 の歪みによる圧電効果が起きる。この場合、圧電効果により微小振動子 101 の自己共振周波数の交流電圧が発生し、信号出力ポート OUT へ信号が出力される。つまり、微小振動子 101 の自己共振周波数の信号が信号入力ポート IN より入力された場合のみ、同じ周波数の信号が信号出力ポート OUT へ選択的に出力されるわけである。

#### 【0088】

本発明の実施の形態 3 における電気機械フィルタによっても図 4 (a) に信号選択特性を示すように、中心周波数  $f_c$  のバンドパスフィルタ特性を有することが可能である。ここでも中心周波数  $f_c$  および Q 値は、微小機械振動子 101 の設計に依存し、微小機械振動子 101 の自己共振周波数および Q 値により決められる。

微小振動子 101 に使用する圧電材料としては、PZT などの圧電材料のほか、誘電材料、カーボンナノチューブなどのカーボン系材料、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  などの絶縁材料、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 、 $\text{PrNiO}_3$  などのセラミックス、 $(\text{DMe-DCNQI})_2\text{Cu}$  などの有機物質、量子ドットなどを埋め込んだ複合材料、複数の材料を積層した超格子材料などの結晶歪による圧電効果を示す材料を使用することが可能である。

#### 【0089】

図 11 (b) は、図 11 (a) の電気機械フィルタの変形例を示す斜視図である。図 11 (b) に示す電気機械フィルタ 800 では、電気機械フィルタ 700 において微小振動子 101 として両持ち梁を用いているのに対し、円盤を用いた例である。この様に、微小振動子 101 として、他にも片持ち梁、角盤など様々な形状を用いることが可能である。なお、図 11 (b) の電気機械フィルタ 800 において、図 11 (a) に示す電気機械フィルタ 700 と同様の構成については、同名称および同符号を付して説明は省略する。

なお、信号出力ポート OUT 側に、出力信号のパワーを増幅するためのパワーアンプなどを設けることが可能である。

また、複数の微小振動子を機械的に結合させることにより、信号選択特性の Q 値や信

号の通過帯域幅を制御することが可能である。

【００９０】

また、本発明の電気機械フィルタを並列または直列に接続した多段フィルタ構成にすることが可能である。

電気機械フィルタ７００、８００は、本発明の実施の形態１における電気機械フィルタ１００、２００の製造方法と同様な製造方法で作製可能である。

【００９１】

このように、電気機械フィルタ７００、８００によれば、従来実現困難であった高感度振動検出機構を備えることなく所定の周波数の信号のみを選択して出力することを可能とする。また、高感度振動検出機構を備える必要がないため、構造が簡素でかつ低コストで製造可能な高周波信号選択機能を有する電気機械フィルタを提供する。

【産業上の利用可能性】

【００９２】

本発明に係る電気機械フィルタは、微小振動子が自己共振周波数で振動した際に生ずる微小振動子の構造変化に起因する物理的性質の変化により、信号選択を可能にすることができ、構造が簡素でかつ低コストで製造可能な高周波信号選択機能を有する電気機械フィルタおよびそれを用いた電気機器として有用である。

【図面の簡単な説明】

【００９３】

【図１】（ａ）は本発明の実施の形態１における電気機械フィルタの構成を示す斜視図、（ｂ）は図１（ａ）の電気機械フィルタの変形例を示す斜視図である。

【図２】本発明の実施の形態１および実施の形態２および実施の形態３における電気機械フィルタの微小振動子の構造変形を示す図であり、（ａ）は微小振動子の静止状態を示す図、（ｂ）微小振動子の振動状態を示す図である。

【図３】本発明の実施の形態１における電気機械フィルタの微小振動子の電子バンド構造を示す図であり、（ａ）は微小振動子の静止状態を示す図、（ｂ）は微小振動子の振動状態を示す図である。

【図４】本発明の実施の形態１および実施の形態２および実施の形態３における電気機械フィルタのフィルタリング特性を示す図であり、（ａ）はバンドストップフィルタ特性を示す図、（ｂ）はバンドストップフィルタ特性を示す図である。

【図５】本発明の実施の形態１における図１の電気機械フィルタの製造工程を段階的に説明する断面図である。

【図６】（ａ）は本発明の実施の形態１における図１の電気機械フィルタの変形例を示す斜視図、（ｂ）は図６（ａ）の電気機械フィルタの変形例を示す斜視図である。

【図７】本発明の実施の形態１における図６の電気機械フィルタの製造工程を段階的に説明する断面図である。

【図８】本発明の実施の形態１における図６の電気機械フィルタの製造工程を段階的に説明する断面図である。

【図９】（ａ）は本発明の実施の形態２における電気機械フィルタの構成を示す斜視図、（ｂ）は図９（ａ）の電気機械フィルタの変形例を示す斜視図である。

【図１０】本発明の実施の形態１における電気機械フィルタの微小振動子の電子バンド構造を示す図であり、（ａ）は微小振動子の静止状態を示す図、（ｂ）は微小振動子の振動状態を示す図である。

【図１１】（ａ）は本発明の実施の形態３における電気機械フィルタの構成を示す斜視図、（ｂ）は図１１（ａ）の電気機械フィルタの変形例を示す斜視図である。

【符号の説明】

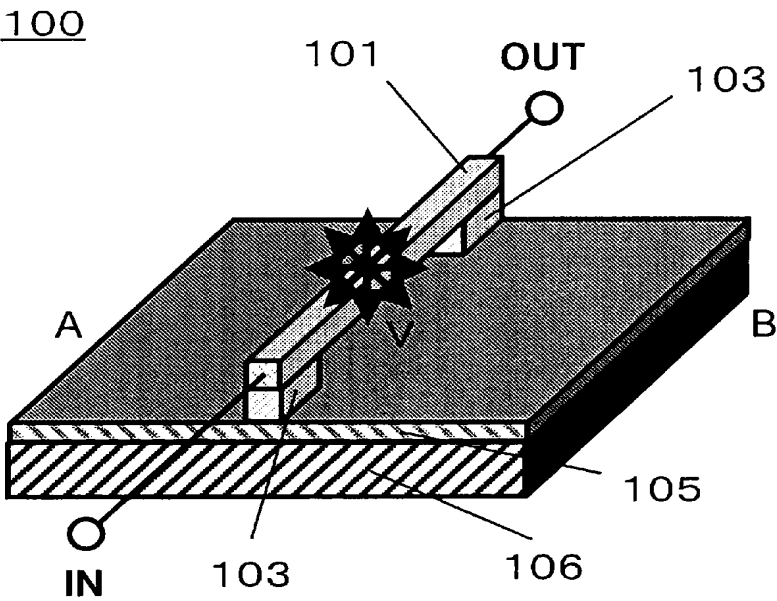
【００９４】

１００、２００、３００、４００、５００、６００、７００、８００ 電気機械フィルタ

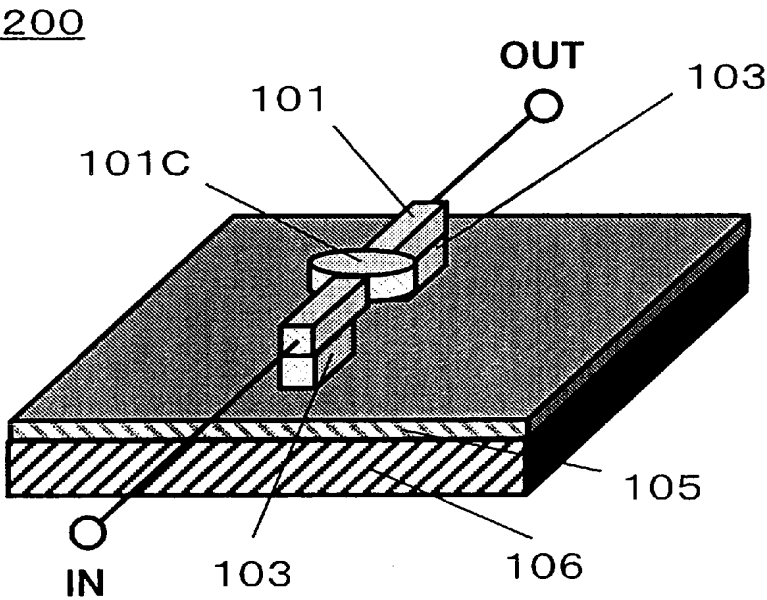
１０１ 微小振動子

- 1 0 2 駆動電極
- 1 0 3 ポスト
- 1 0 4 スペーサ
- 1 0 5 絶縁層
- 1 0 6 基板
- 1 0 7 格子
- 1 0 8 フォトレジスト
- 1 0 9 信号入力電極

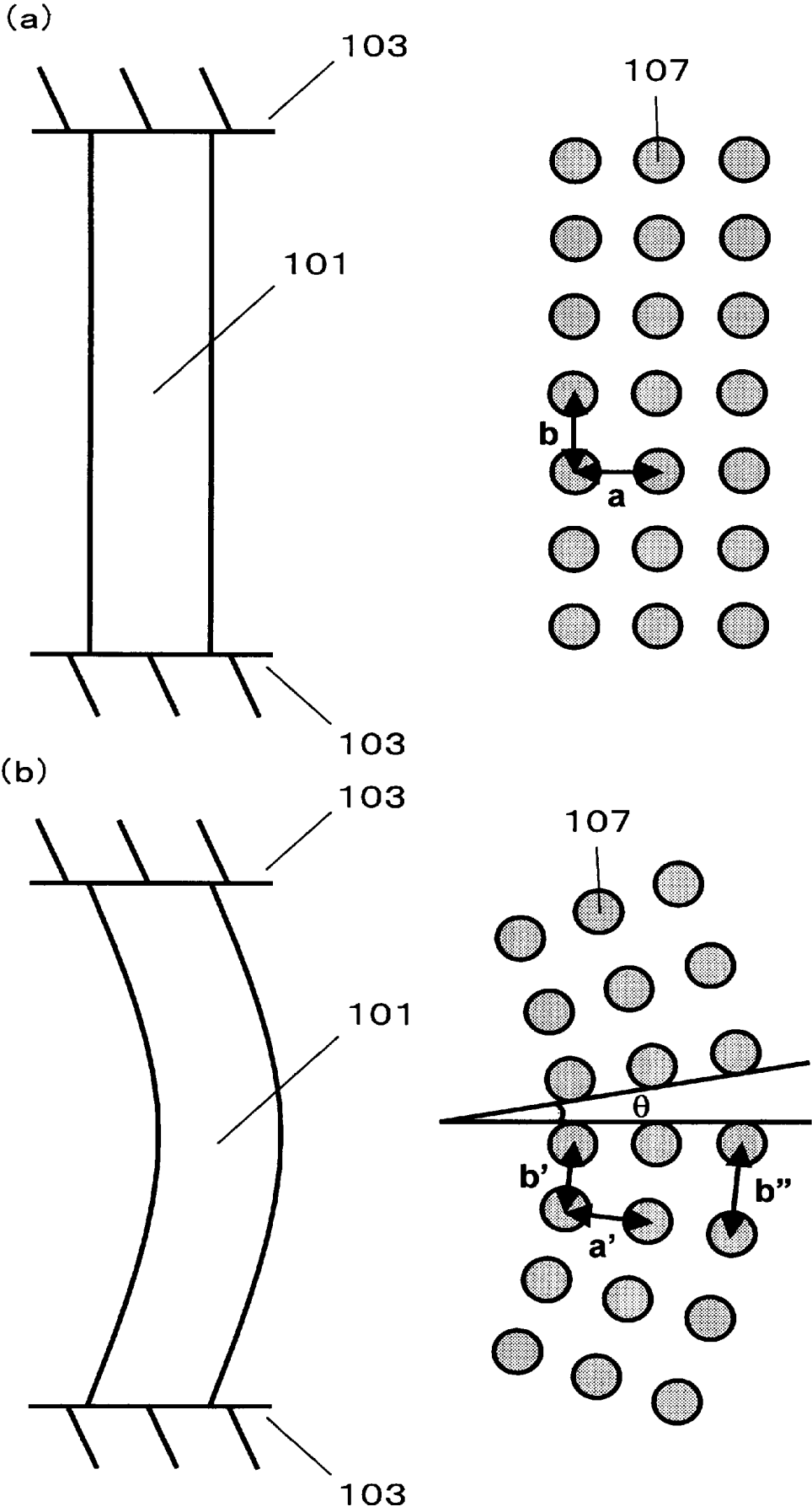
(a)



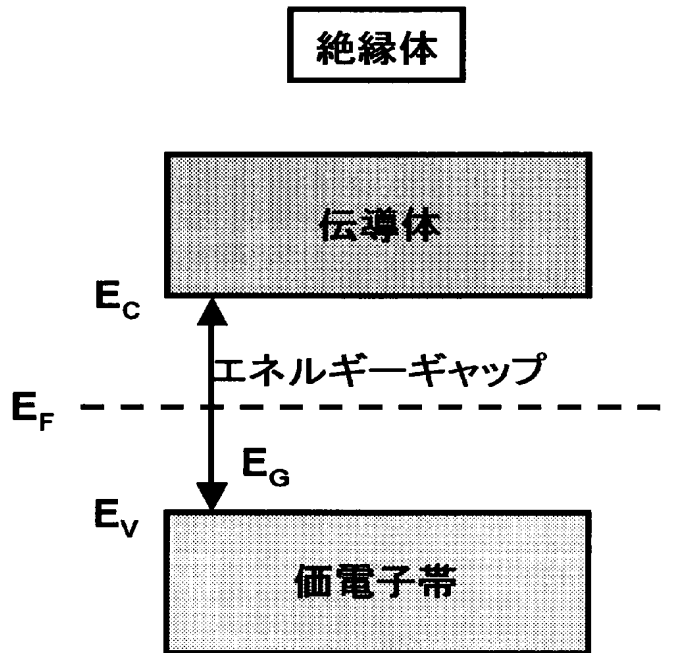
(b)



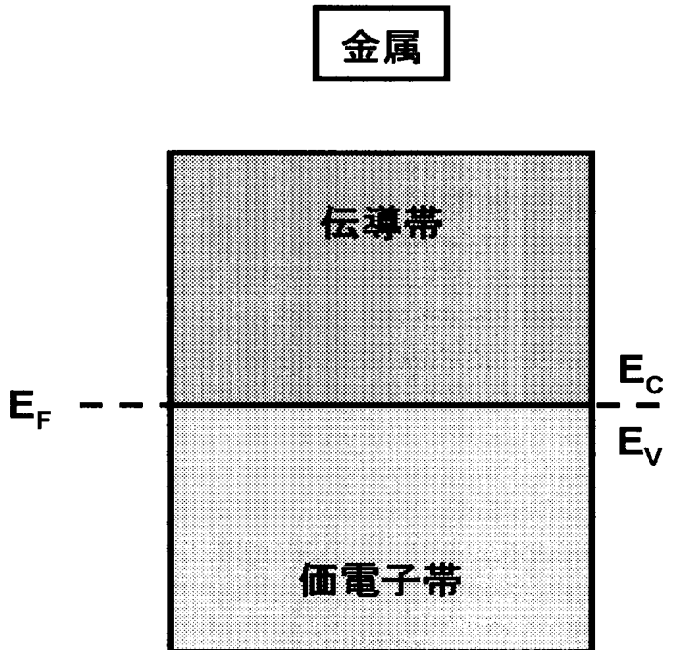
【図 2】



(a)

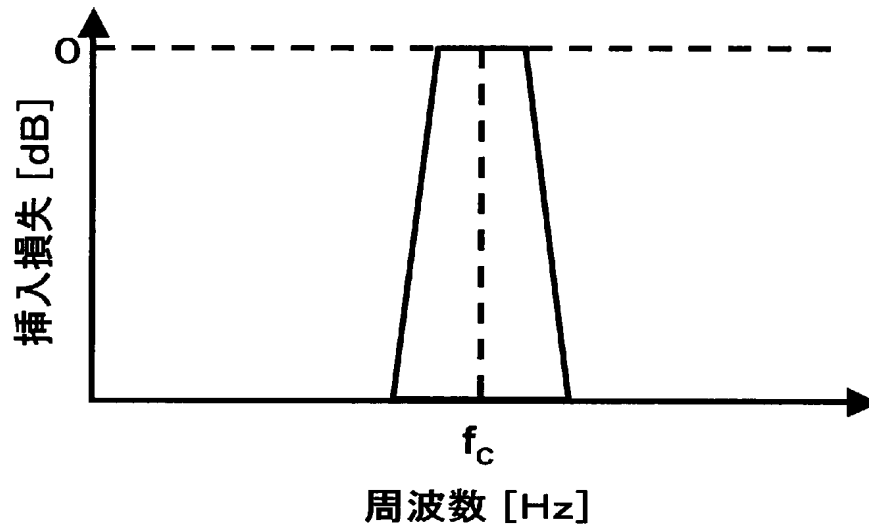


(b)



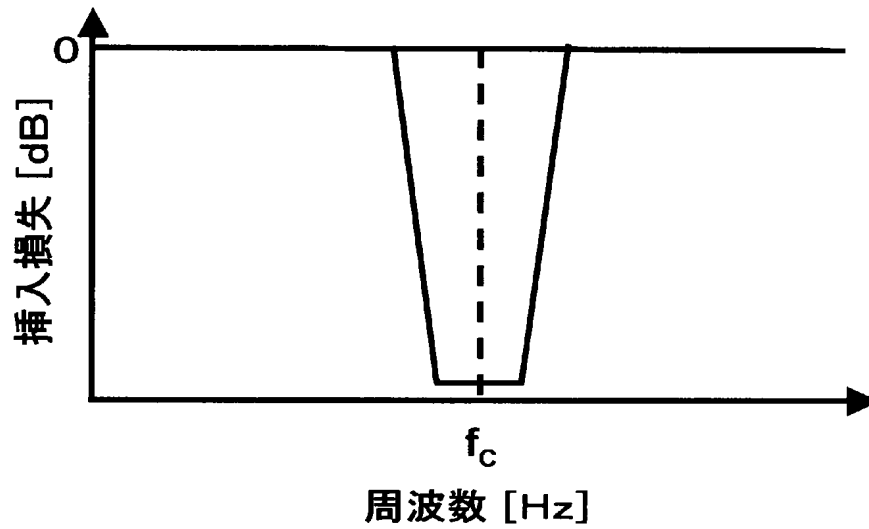
(a)

バンドパスフィルタ特性



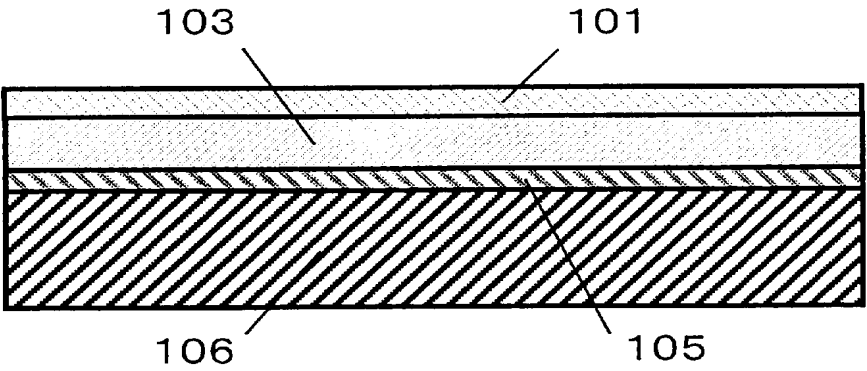
(b)

バンドストップフィルタ特性

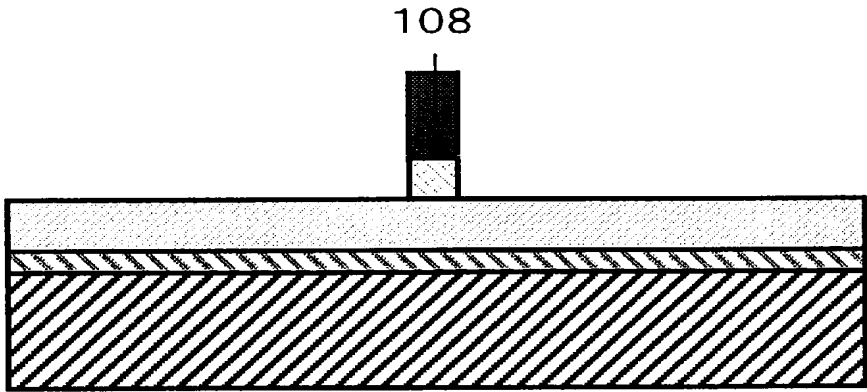




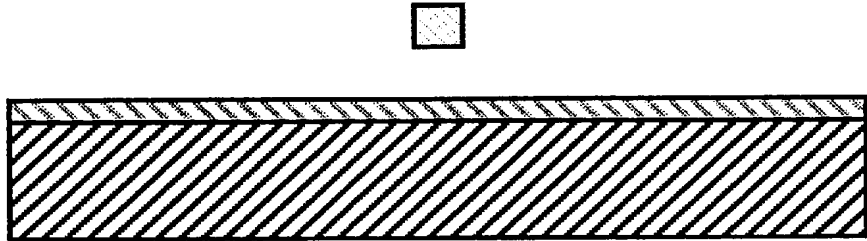
(a)



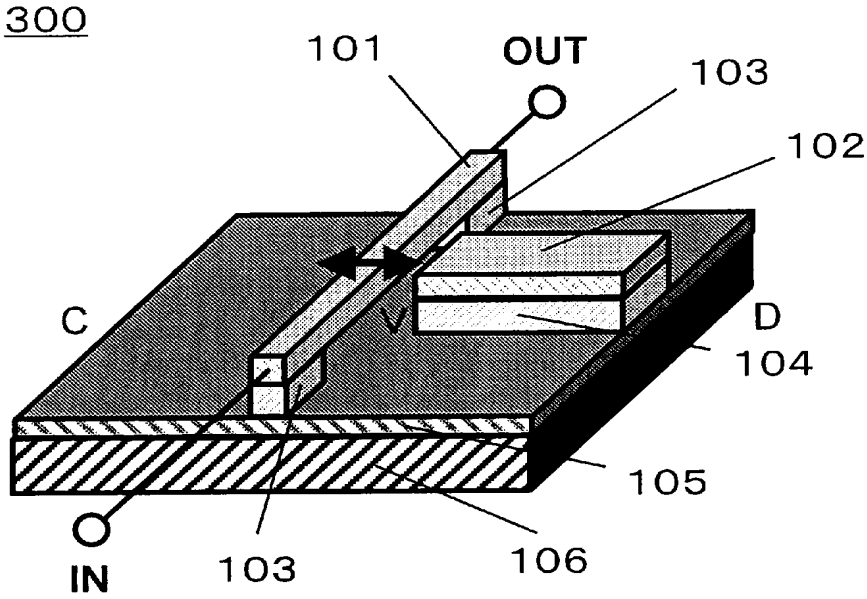
(b)



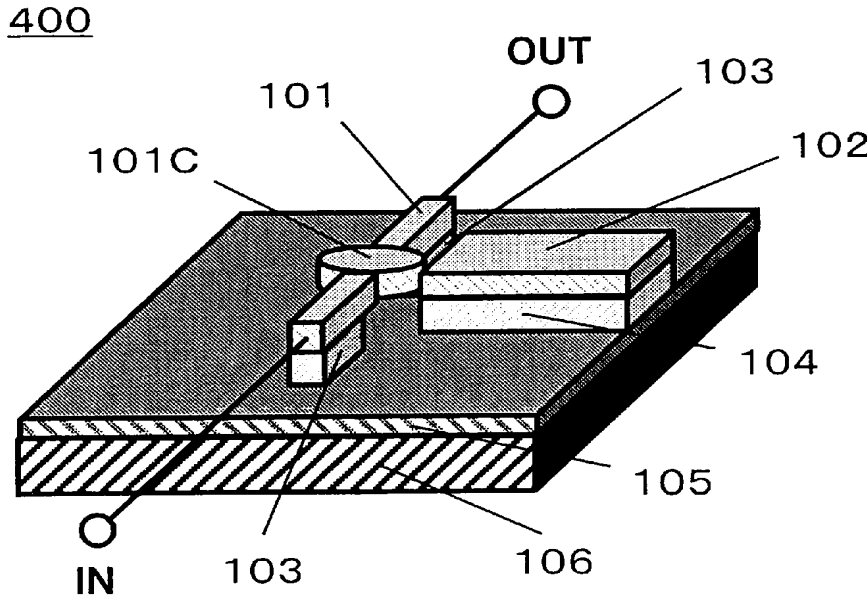
(c)



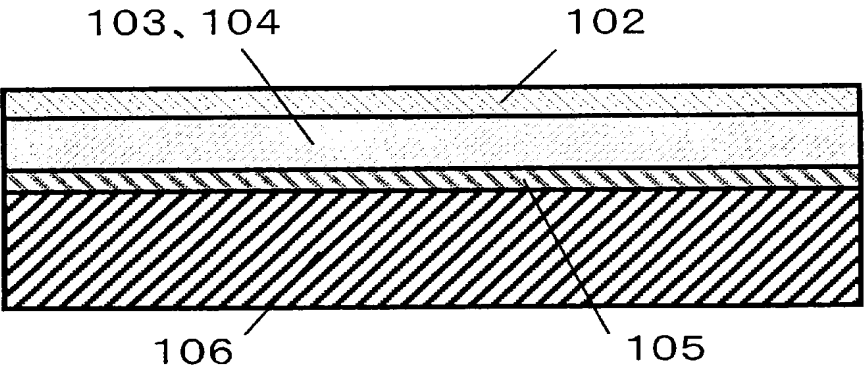
(a)



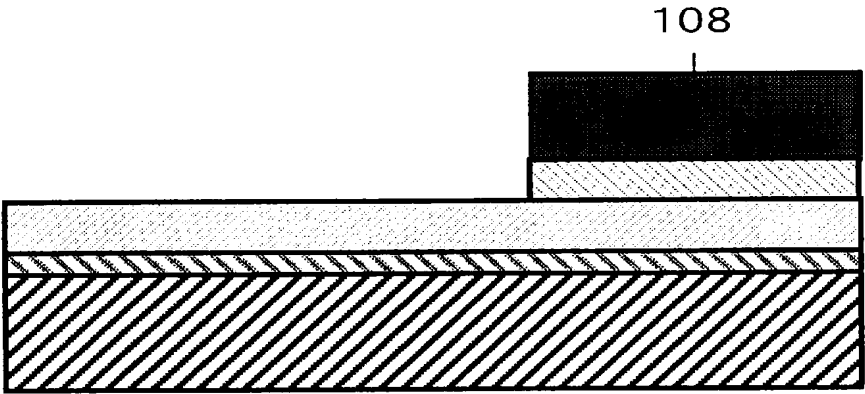
(b)



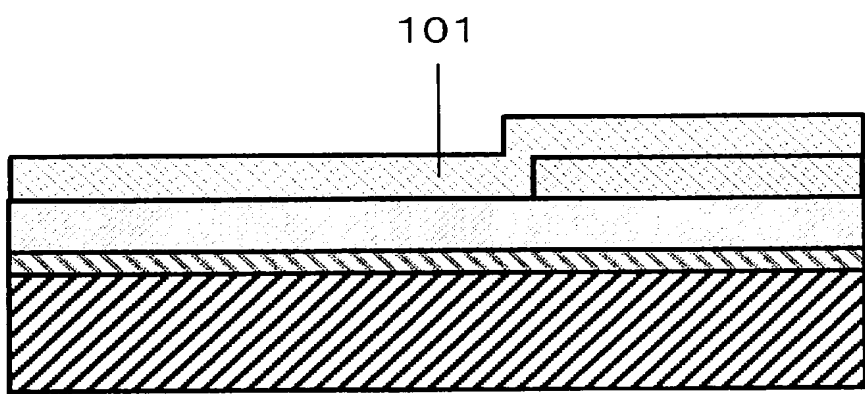
(a)



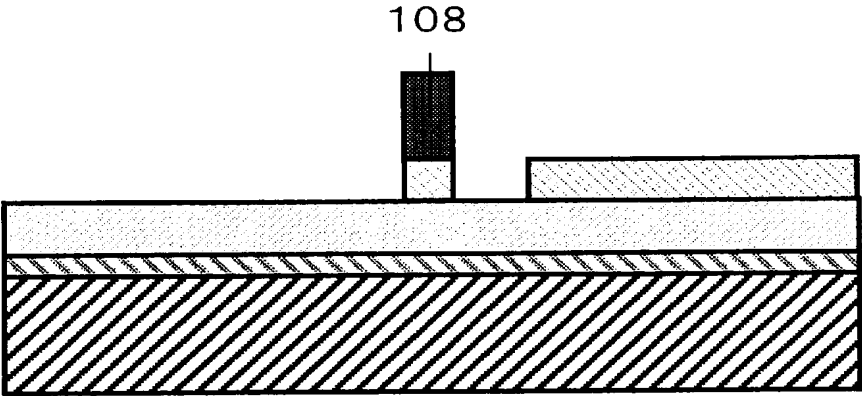
(b)



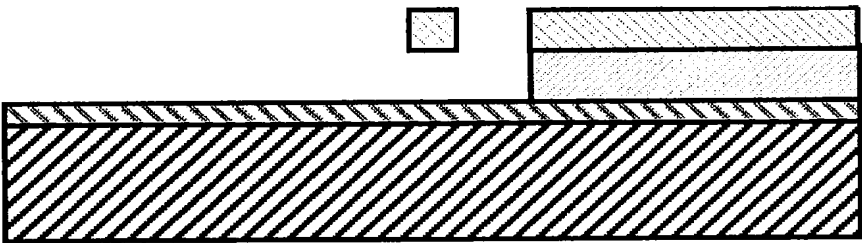
(c)



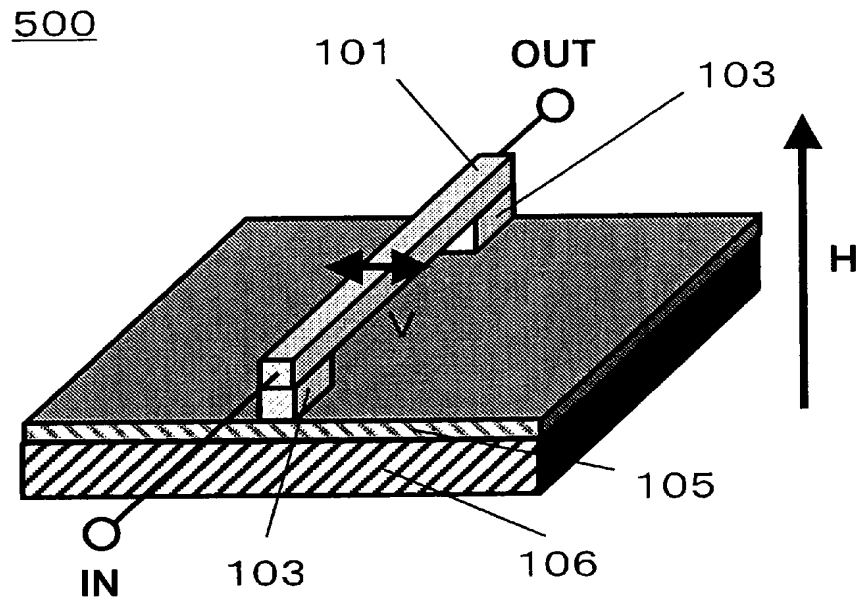
(a)



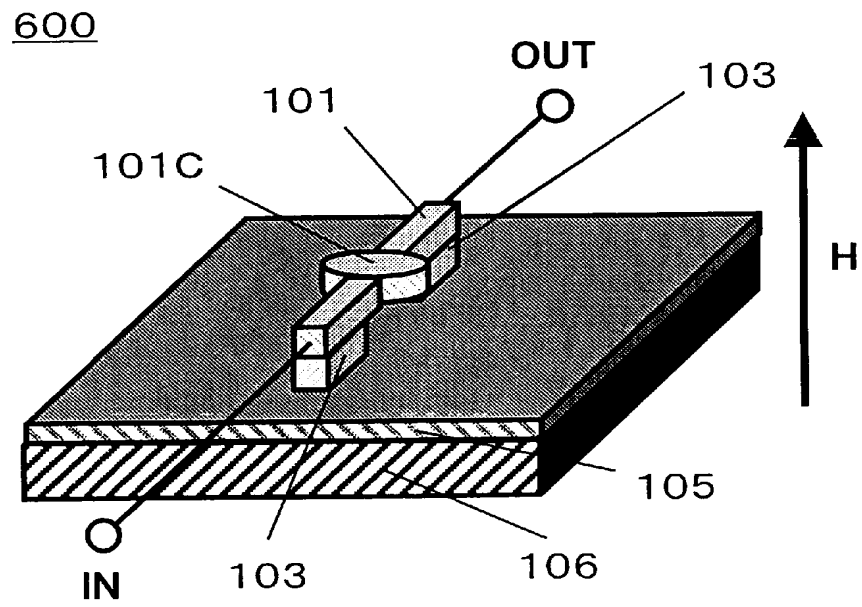
(b)



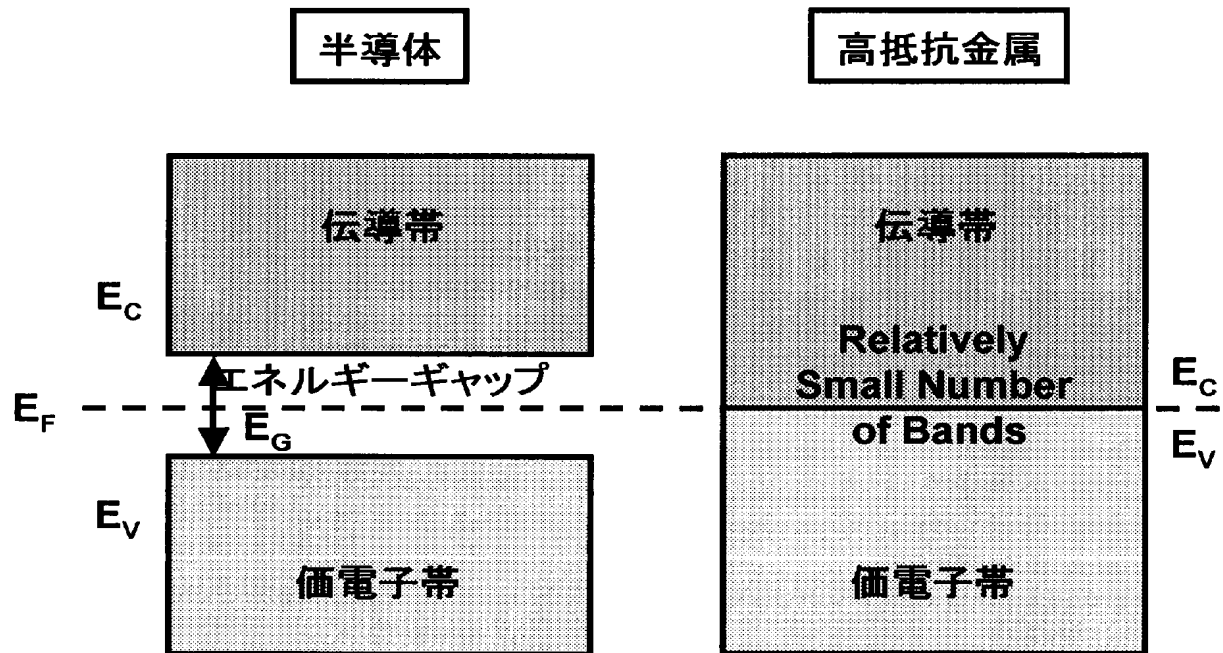
(a)



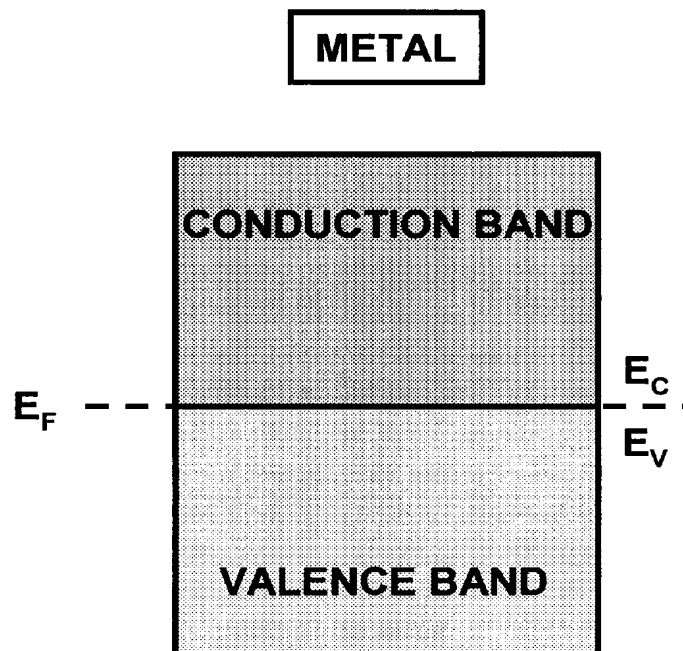
(b)



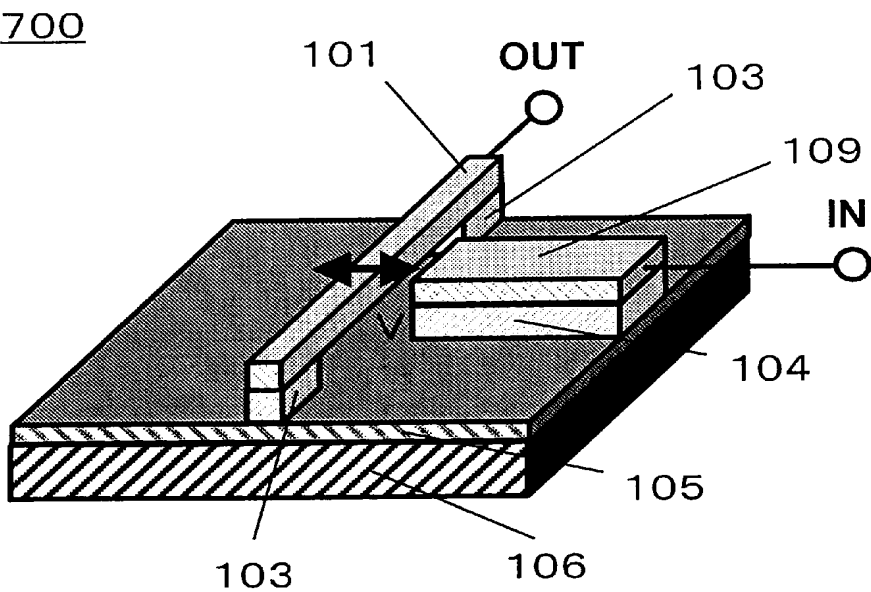
(a)



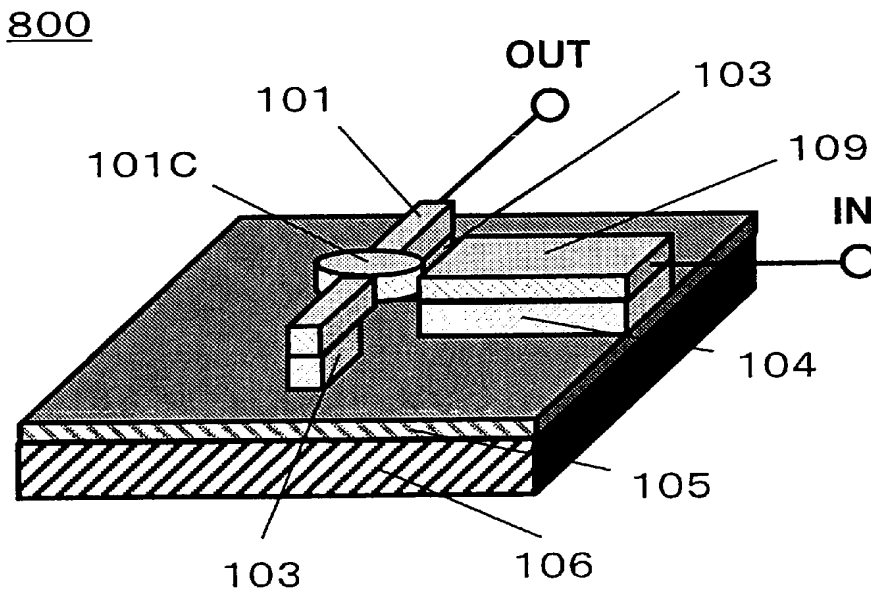
(b)



(a)



(b)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 小型化、高集積化が可能で、高感度振動検出機構を備えることなく所定の周波数の信号のみを選択して出力することを可能とする電気機械フィルタおよびそれを用いた電気機器を提供する。

【解決手段】 共振器となる微小振動子を備え、前記微小振動子は、前記微小振動子の振動を励起する外力により励振可能であって、前記微小振動子に構造変化により物理的性質が変化する材料を使用することにより、高感度の電気機械フィルタを実現する。

【選択図】 図 1



## 出願人履歴

0 0 0 0 0 5 8 2 1

19900828

新規登録

大阪府門真市大字門真1 0 0 6 番地

松下電器産業株式会社